

Analisis Mikroskopis Pengaruh Tekanan Kempa Pada Balok Bambu Laminasi

Iskandar Yasin^{1,a}

¹Program Studi Teknik Sipil Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa

^aiskandartamansiswa@gmail.com

Abstrak

Bambu laminasi sebagai alternatif bahan bangunan pengganti kayu, mempunyai prospek yang bagus dalam pemenuhan kebutuhan konstruksi. Tanaman bambu cepat tumbuh, tidak memerlukan perlakuan khusus ketika ditanam dan mampu tumbuh diberbagai kondisi lahan. Bilah-bilah bambu pada balok bambu laminasi yang mengalami pengempaan diperkirakan mengalami kerusakan pada seratnya sehingga berpengaruh terhadap kekuatan garis perekat maupun kekuatan balok bambu laminasi. Pengamatan serat bambu dianalisis menggunakan SEM (Scanning Electron Microscopy). Pengujian sifat fisika dan mekanika bambu dengan perlakuan variasi tekanan kempa 0 MPa, 1,5 MPa, 2 MPa dan 2,5 MPa diamati perubahan struktur seratnya. Pengempaan dengan besaran 1,5 MPa sampai dengan 2,5 MPa tidak mempengaruhi sifat fisika bambu. Pengamatan mikroskopis menunjukkan sel parenkim mengalami keretakan linier dengan besarnya pengempaan. Pengamatan mikroskopis menggunakan alat SEM.

Kata kunci : bambu, sifat fisika, sifat mekanika, takanan kempa, SEM.

Pendahuluan

Bambu laminasi merupakan rekayasa bahan bangunan yang memiliki karakter seperti kayu. Rekayasa bahan bangunan ini sangat populer dikembangkan dan diteliti belakangan ini, karena memiliki banyak keunggulan (Eratodi, 2013).Bambu laminasi sebagai alternatif bahan bangunan pengganti kayu, mempunyai prospek yang bagus dalam pemenuhan kebutuhan konstruksi. Tanaman bambu cepat tumbuh, tidak memerlukan perlakuan khusus ketika ditanam dan mampu tumbuh diberbagai kondisi lahan (Yasin, dkk, 2015).

Menurut Hermanto (2015), bambu laminasi sebagai alternatif pengganti bahan bangunan beton dan bata, serta sebagai kompetitor konstruksi kayu mempunyai potensi cukup baik dari segi pemenuhan jumlah kebutuhan. Bambu sebagai bahan bangunan yang dapat diperbaharui (*renewable*) sama halnya kayu, namun lebih cepat tumbuh (*fastgrowing*), sehingga dalam satu tahunnya bambu lebih menguntungkan dibandingkan kayu. Sebagai ilustrasi, bahwa satu rumah konstruksi bambu laminasi di Amerika dengan luas bangunan 175 m² memerlukan 1 ha lahan bambu per tahunnya (Flander dan Rovers, 2009). Bambu Guadua disuplai dari Colombia.

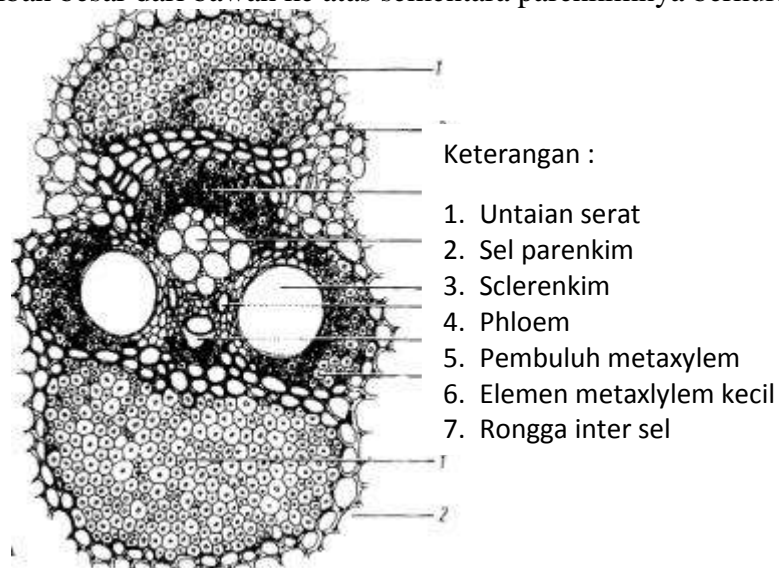
Penelitian balok bambu laminasi yang dilakukan Oka (2004) menunjukkan jenis kerusakan balok laminasi bambu Petung 100% memperlihatkan kecenderungan rusak geser. Kapasitas kuat geser bahan (F_v) bambu belum terlampaui oleh kapasitas geser balok bambu laminasi. Hal ini disebabkan oleh beberapa lamina mempunyai berat yang ringan, distribusi tekanan yang tidak merata sepanjang balok pada saat pengempaan dan teknik pembuatan balok bambu laminasi yang kurang sempurna. Masrizal (2004), melakukan penelitian pengaruh gaya pengempaan terhadap kuat lentur balok laminasi vertikal didapatkan hasil analisis variabel bebas menghasilkan tekanan pengempaan maksimum berkisar antara 1,3 MPa sampai dengan 1,6 MPa. Budi (2006) melakukan penelitian eksperimental pengaruh tekanan kempa dengan variasi 1,5 MPa dan 2,5 MPa pada balok bambu laminasi. Dari hasil eksperimen didapatkan bahwa balok laminasi dengan tekanan kempa 2,5 MPa mempunyai kekuatan menahan beban lebih besar dibandingkan balok bambu laminasi dengan tekanan kempa 1,5 MPa. Bilah-bilah bambu pada balok bambu laminasi yang mengalami pengempaan diperkirakan mempengaruhi sifat mekanika sehingga berpengaruh terhadap kekuatan

kekuatan balok bambu laminasi. Variasi pengempaan dilakukan untuk mengetahui pengaruh tekanan kempa terhadap sifat fisika dan mekanika bahan dasar bambu (Yasin, dkk, 2015).

Bilah-bilah bambu pada balok bambu laminasi yang mengalami pengempaan diperkirakan mengalami kerusakan pada seratnya sehingga berpengaruh terhadap kekuatan garis perekat maupun kekuatan balok bambu laminasi. Hal ini diprediksi menjadi salah satu penyebab gagal geser pada balok bambu laminasi sebelum balok tersebut mencapai kuat lentur maksimum. Sehingga analisis mikroskopis serat bambu akibat pengempaan sangat diperlukan.

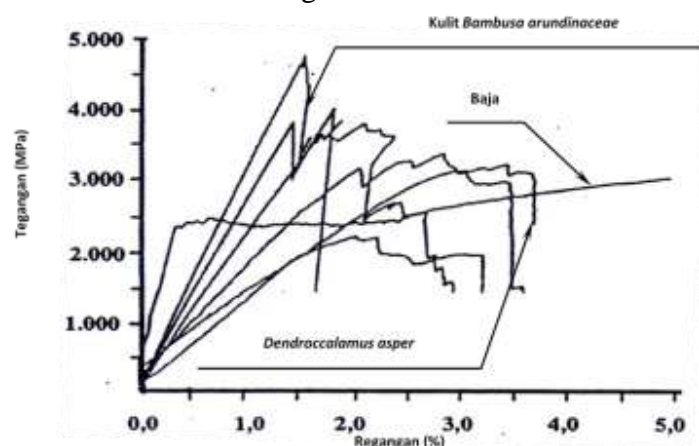
Studi Pustaka

Menurut Feng (2008), susunan sel bambu seperti tampak pada Gambar 1. Anatomi struktur batang bambu menentukan karakteristiknya. Bambu-bambu bersifat seperti rumput-rumputan yang tinggi dan tidak seperti pohon-pohon, pertumbuhannya hanya tunggal tanpa pertumbuhan sekunder. Parenkim dan sel penghubung lebih banyak ditemukan pada bagian dalam dari kolom, sedangkan serat lebih banyak ditemukan pada bagian luar. Susunan serat pada ruas penghubung antar buku memiliki kecenderungan bertambah besar dari bawah ke atas sementara parenkimnya berkurang.



Gambar 1. Sel bambu (Feng, 2008).

Morisco (2006), meneliti kekuatan tarik bambu sejajar serat tanpa nodia bagian kulit jenis Ori (*Bambusa arundinaceae*) jauh lebih besar dibandingkan dengan kuat tarik baja tulangan, dan kekuatan tarik bambu sejajar serat pada seluruh tebal jenis Petung (Gambar 2). Ma dkk (2006), meneliti besarnya modulus elastisitas lentur bambu pada bagian kulit luar, daging tengah dan bagian daging dalam sebagaimana terlihat dalam diagram Gambar 2.



Gambar 2. Diagram tegangan-regangan bambu dan baja (Morisco, 1999).

Irawati dan Saputra (2012) telah melakukan analisis statistik untuk hasil-hasil penelitian sifat mekanika bambu petung yang dilakukan di UGM Yogyakarta dari tahun 2002 hingga 2010. Hasil penelitian sifat mekanika bambu petung dalam Tabel 1 mempunyai nilai deviasi cukup beragam yaitu 29,95% - 77,9% akibat dari pengaruh kadar air rata-rata sebesar 15,38% dengan koefisien variasi 25% (Irawati dan Saputra, 2012).

Tabel 1. Sifat mekanika bambu Petung (Irawati dkk, 2012).

No	Sifat Mekanika	Rerata Nilai (MPa)	Standar Deviasi (%)	Koefisien variasi (%)
1	Kuat lentur	134,97	42,39	31,4
2	Kuat tarik sejajar serat	228,00	94,46	41,4
3	Kuat tekan sejajar serat	49,21	10,99	22,3
4	Kuat tekan tegak lurus serat	24,19	18,84	77,9
5	Kuat geser sejajar serat	9,51	2,85	29,95
6	Modulus elastisitas lentur	12888,48	4891,82	37,96

Masrizal (2004) melakukan penelitian pengaruh gaya pengempaan terhadap kuat lentur balok laminasi vertikal bambu Petung. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh peningkatan tekanan pengempaan balok bambu laminasi vertikal terhadap kekuatan maksimum balok bambu laminasi vertikal. Dari hasil pengujian balok laminasi diperoleh bahwa *modulus of rupture* balok bambu laminasi mengalami peningkatan seiring bertambahnya tekanan kempa sampai besaran tekanan kempa 1,5 MPa. Pada variasi tekanan kempa 2 MPa MoR balok bambu laminasi justru mengalami reduksi kekuatan.

Identifikasi Masalah

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu rata-rata balok bambu laminasi mengalami permasalahan gagal geser sebelum kekuatan lenturnya mencapai maksimum. Bambu merupakan material komposit sehingga perlu untuk diketahui pengaruh pengempaan pada sifat fisika dan mekanika dari bilah bambu. Hal ini diperlukan pengamatan kerusakan struktur serat bambu terhadap besarnya tekanan kempa. Sehingga analisis mikroskopis serat bambu sangat penting untuk mengetahui pengaruh tekanan kempa pada perubahan bentuk struktur mikroskopis serat bambu laminasi.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh besarnya tekanan kempa terhadap material bambu murni. Sehingga diharapkan mendapat hubungan antara variasi pengempaan dan sifat fisika (kerapatan dan kadar air) dan sifat mekanika (kuat tekan, kuat tarik, kuat geser dan modulus elastisitas) bambu. Pengaruh besarnya tekanan kempa juga dianalisis dengan mengamati serat bambu secara mikroskopis.

Metodologi

Bahan penelitian bambu Petung ini diperoleh dari daerah kalurahan Purwobinangun, kecamatan Pakem, kabupaten Sleman provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Bambu Petung yang digunakan dipilih dengan umur rata-rata 4 tahun. Tanaman bambu di lereng gunung Merapi ini tumbuh dengan subur sehingga menjadi tempat pemasok bambu Petung di daerah sekitar Yogyakarta.



Gambar 3. Bambu Petung Purwobinangun Pakem Sleman

Bahan bambu Petung setelah mencapai batas kering tanur, kemudian dibuat benda uji sifat fisika dan mekanika. Ukuran dan bentuk pengujian sifat fisika dan mekanika benda uji pendahuluan bambu petung berdasarkan ISO 3129-1975, meliputi benda uji kadar air, kerapatan, tekan sejajar serat, benda uji geser sejajar serat, benda uji tarik sejajar dan benda uji lentur. Jumlah benda uji seperti pada Tabel 2. Berikut ini.

Tabel 2. Jumlah benda uji sifat fisika dan mekanika bilah bambu

No.	Nama Benda Uji	Tanpa Pengepaan	Variasi Pengepaan		
			1,50 Mpa	2,00 Mpa	2,50 Mpa
1	Kadar Air	10	10	10	10
2	Kerapatan	10	10	10	10
3	Kuat Tekan // Serat	30	30	30	30
4	Kuat Geser // Serat	30	30	30	30
5	Kuat Tarik // Serat	30	30	30	30
6	MOE	30	30	30	30
Jumlah Benda Uji		140	140	140	140
Jumlah Slice Mikroskopik		1	1	1	1
JUMLAH TOTAL BENDA UJI		= 560			
JUMLAH PREPARAT MIKROSKOPIK		= 4			

Pengamatan serat bambu dianalisis menggunakan SEM (Scanning Electron Microscopy). Pengujian sifat fisika dan mekanika bambu dengan perlakuan variasi tekanan kempa 0 MPa, 1,5 MPa, 2 MPa dan 2,5 MPa diamati perubahan struktur seratnya. Penggunaan alat SEM seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Perangkat Scanning Electron Microscopy

Hasil Dan Pembahasan

Kadar air dengan tekanan kempa 0 MPa minimal adalah 5,47 % dan maksimal 13,97 % dengan rata-rata 12,95 %. Pada tekanan kempa 1,5 MPa besarnya kadar air adalah minimal 6,80 % dan maksimal 19,42 % dengan rata-rata 12,81 %. Besaran kadar air pada tekanan kempa 2 MPa adalah minimal 6,47 % dan maksimal 16,48 % dengan rata-rata sebesar 12,52 %. Kadar air tekanan kempa 2,5 MPa adalah minimal 8,39 % dan maksimal 13,87 % dengan rata-rata kadar air sebesar 12,43 %.

Tabel 3. Hasil pengujian normalitas Kolmogorov-Smirnov kadar air

		0 MPa	1,5 MPa	2 MPa	2,5 MPa
N		10	10	10	10
Normal Parameters ^a	Mean	1.2952E1	1.2813E1	1.2518E1	1.2428E1
	Std. Deviation	2.6420E0	3.2667E0	2.6119E0	2.1326E0
Most Extreme Differences	Absolute	.465	.248	.340	.372
	Positive	.307	.248	.220	.250
	Negative	-.465	-.214	-.340	-.372
Kolmogorov-Smirnov Z		1.471	.784	1.076	1.177
Asymp. Sig. (2-tailed)		.026	.570	.197	.125

Dari hasil pengujian normalitas Kolmogorov-Smirnov diperoleh bahwa kadar air dengan berbagai variasi tekanan kempa terdistribusi normal. Hasil analisis korelasi parsial kadar air dengan berbagai variasi tekanan kempa tidak berhubungan secara signifikan. Sehingga tekanan kempa tidak berpengaruh terhadap volume pada pori bambu yang menyimpan kandungan air. Hasil analisis korelasi parsial kadar air dengan berbagai variasi tekanan kempa tertera pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Korelasi parsial kadar air bambu

Control Variables			1,5 MPa	2 MPa	2,5 MPa	0 MPa
-none- ^a	1,5 MPa	Correlation	1.000	.624	.428	.602
		Significance (2-tailed)	.	.054	.217	.066
		df	0	8	8	8
	2 MPa	Correlation	.624	1.000	.157	.327
		Significance (2-tailed)	.054	.	.666	.357
		df	8	0	8	8
	2,5 MPa	Correlation	.428	.157	1.000	.611
		Significance (2-tailed)	.217	.666	.	.061
		df	8	8	0	8
	0 MPa	Correlation	.602	.327	.611	1.000
		Significance (2-tailed)	.066	.357	.061	.
		df	8	8	8	0
0 MPa	1,5 MPa	Correlation	1.000	.566	.095	
		Significance (2-tailed)	.	.112	.807	
		df	0	7	7	
	2 MPa	Correlation	.566	1.000	-.057	
		Significance (2-tailed)	.112	.	.883	
		df	7	0	7	
	2,5 MPa	Correlation	.095	-.057	1.000	
		Significance (2-tailed)	.807	.883	.	
		df	7	7	0	

Kerapatan dengan tekanan kempa 0 MPa adalah minimal 0,56 gr/cm³ dan maksimal 0,70 gr/cm³ dengan rata-rata sebesar 0,64 gr/cm³. Pada tekanan kempa 1,5 MPa besarnya nilai kerapatan adalah minimal 0,66 gr/cm³ dan maksimal 0,91 gr/cm³ dengan rata-rata sebesar 0,73 gr/cm³. Nilai kerapatan dengan kempa sebesar 2 MPa adalah minimal 0,62 gr/cm³ dan maksimal 0,92 gr/cm³ dengan nilai rata-rata sebesar 0,75 gr/cm³. Pada tekanan kempa 2,5 MPa nilai kerapatan bambu

adalah minimal sebesar 0,70 gr/cm³ dan maksimal 0,93 gr/cm³ dengan nilai rata-rata 0,78 gr/cm³. Analisis normalitas Kolmogorov-Smirnov kerapatan bambu dengan berbagai variasi tekanan kempa tertera pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil pengujian normalitas Kolmogorov-Smirnov kerapatan bambu

		0 MPa	1,5 MPa	2 MPa	2,5 MPa
N		10	10	10	10
Normal Parameters ^a	Mean	.6411780	.727880	.752750	.778840
	Std. Deviation	.05268671	.0790686	.1103966	.0752500
Most Extreme Differences	Absolute	.187	.204	.194	.219
	Positive	.144	.204	.193	.219
	Negative	-.187	-.177	-.194	-.155
Kolmogorov-Smirnov Z		.592	.645	.612	.691
Asymp. Sig. (2-tailed)		.875	.799	.848	.726

Dari hasil pengujian dalam Tabel 5 didapatkan bahwa kerapatan dengan berbagai variasi tekanan kempa adalah terdistribusi normal. Dari hasil pengujian korelasi parsial kerapatan dengan berbagai variasi tekanan kempa tidak berhubungan secara signifikan. Sehingga tekanan kempa pada bilah bambu tidak berpengaruh terhadap nilai kerapatan. Korelasi kerapatan bambu terhadap pengaruh variasi tekanan kempa disajikan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Korelasi kerapatan

Control Variables			1,5 MPa	2 MPa	2,5 MPa	0 MPa
-none-a	1,5 MPa	Correlation	1.000	.165	-.193	.314
		Significance (2-tailed)	.	.650	.593	.376
		df	0	8	8	8
	2 MPa	Correlation	.165	1.000	.221	.378
		Significance (2-tailed)	.650	.	.540	.282
		df	8	0	8	8
	2,5 MPa	Correlation	-.193	.221	1.000	.236
		Significance (2-tailed)	.593	.540	.	.511
		df	8	8	0	8
	0 MPa	Correlation	.314	.378	.236	1.000
		Significance (2-tailed)	.376	.282	.511	.
		df	8	8	8	0
0 MPa	1,5 MPa	Correlation	1.000	.052	-.290	
		Significance (2-tailed)	.	.894	.449	
		df	0	7	7	
	2 MPa	Correlation	.052	1.000	.146	
		Significance (2-tailed)	.894	.	.708	
		df	7	0	7	
	2,5 MPa	Correlation	-.290	.146	1.000	
		Significance (2-tailed)	.449	.708	.	
		df	7	7	0	

Kuat lentur pada tekanan kempa 0 MPa adalah minimal 106,40 MPa dan maksimal 168,64 MPa dengan rata-rata sebesar 132,54 MPa. Pada tekanan kempa 1,5 MPa nilai kuat lentur adalah minimal 90,82 MPa dan maksimal 174,57 MPa dengan nilai rata-rata sebesar 146,69 MPa. Kuat lentur dengan tekanan kempa sebesar 2 MPa adalah minimal 24,51 MPa dan maksimal 154,86 MPa

dengan rata-rata sebesar 122,01 MPa. Kuat lentur bambu dengan tekanan kempa 2,5 MPa adalah minimal sebesar 67,57 MPa dan maksimal 186,75 dengan nilai rata-rata sebesar 121,52 MPa.

Tabel 7 menunjukkan hasil pengujian normalitas Kolmogorov-Smirnov kuat lentur bambu dengan berbagai variasi tekanan kempa.

Tabel 7. Hasil pengujian normalitas Kolmogorov-Smirnov kuat lentur bambu

		0 MPa	1,5 MPa	2 MPa	2,5 MPa
N		30	30	30	30
Normal Parameters ^a	Mean	1.3253E2	146.69	1.2200E2	1.2151E2
	Std. Deviation	1.2105E1	20.737	2.8804E1	3.0454E1
Most Extreme Differences	Absolute	.117	.092	.313	.205
	Positive	.117	.092	.204	.205
	Negative	-.097	-.081	-.313	-.099
Kolmogorov-Smirnov Z		.639	.503	1.714	1.124
Asymp. Sig. (2-tailed)		.809	.962	.006	.160

Dari hasil pengujian dalam tabel diatas bahwa kuat lentur dengan berbagai variasi tekanan kempa adalah distribusi normal, sehingga data hasil pengujian kuat lentur dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut. Dari hasil pengujian korelasi parsial kerapatan dengan berbagai variasi tekanan kempa tidak berhubungan secara signifikan. Sehingga tekanan kempa tidak berpengaruh terhadap kuat lentur bilah bambu. Hasil korelasi parsial kuat lentur bambu dengan variasi tekanan kempa disajikan dalam Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Hasil korelasi parsial kuat lentur

Control Variables			1,5 MPa	2 MPa	2,5 MPa	0 MPa
-none- ^a	1,5 MPa	Correlation	1.000	-.026	.019	.180
		Significance (2-tailed)	.	.894	.919	.340
		df	0	28	28	28
	2 MPa	Correlation	-.026	1.000	.011	.020
		Significance (2-tailed)	.894	.	.953	.915
		df	28	0	28	28
	2,5 MPa	Correlation	.019	.011	1.000	.289
		Significance (2-tailed)	.919	.953	.	.122
		df	28	28	0	28
	0 MPa	Correlation	.180	.020	.289	1.000
		Significance (2-tailed)	.340	.915	.122	.
		df	28	28	28	0
0 MPa	1,5 MPa	Correlation	1.000	-.030	-.035	
		Significance (2-tailed)	.	.879	.859	
		df	0	27	27	
	2 MPa	Correlation	-.030	1.000	.006	
		Significance (2-tailed)	.879	.	.977	
		df	27	0	27	
	2,5 MPa	Correlation	-.035	.006	1.000	
		Significance (2-tailed)	.859	.977	.	
		df	27	27	0	

Kuat tarik pada tekanan kempa 0 MPa adalah minimal sebesar 126,67 MPa dan maksimal 248,88 MPa dengan rata-rata sebesar 192,74 MPa. Pada tekanan kempa 1,5 MPa kuat tarik bambu adalah minimal 128,19 MPa dan maksimal 321,13 MPa dengan rata-rata sebesar 216,37 MPa. Kuat tarik bambu yang dikempa 2 MPa adalah minimal 57,02 MPa dan maksimal 203,93 MPa dengan

rata-rata 164,75 MPa. Pada tekanan kempa 2,5 MPa kuat tarik bambu adalah minimal 116,77 MPa dan maksimal 284,64 MPa dengan rata-rata kuat tarik adalah sebesar 160,74 MPa. Hasil analisis normalitas Kolmogorov-Smirnov kuat tarik bambu dengan berbagai variasi tekanan kempa disajikan dalam Tabel 9 berikut. Dari hasil pengujian yang tersaji dalam Tabel 9 dinyatakan bahwa kuat tarik dengan berbagai variasi tekanan kempa adalah distribusi normal. Dari hasil pengujian korelasi parsial pada Tabel 10 dinyatakan bahwa kuat tarik dengan berbagai variasi tekanan kempa tidak berhubungan secara signifikan. Sehingga tekanan kempa tidak mempengaruhi kuat lentur bilah bambu.

Tabel 9. Hasil pengujian normalitas Kolmogorov-Smirnov kuat tarik bambu

		0 MPa	1,5 MPa	2 MPa	2,5 MPa
N		30	30	30	30
Normal Parameters ^a	Mean	1.9273E2	216.37	1.6474E2	1.6074E2
	Std. Deviation	2.6512E1	29.758	4.7211E1	4.2244E1
Most Extreme Differences	Absolute	.175	.179	.130	.252
	Positive	.175	.144	.118	.252
	Negative	-.156	-.179	-.130	-.149
Kolmogorov-Smirnov Z		.960	.981	.713	1.381
Asymp. Sig. (2-tailed)		.315	.291	.689	.044

Tabel 10. Hasil korelasi parsial kuat tarik

Control Variables			1,5 MPa	2 MPa	2,5 MPa	0 MPa
-none- a	1,5 MPa	Correlation	1.000	-.149	-.106	.003
		Significance (2-tailed)	.	.432	.579	.987
		df	0	28	28	28
	2 MPa	Correlation	-.149	1.000	.079	-.491
		Significance (2-tailed)	.432	.	.678	.006
		df	28	0	28	28
	2,5 MPa	Correlation	-.106	.079	1.000	-.260
		Significance (2-tailed)	.579	.678	.	.166
		df	28	28	0	28
	0 MPa	Correlation	.003	-.491	-.260	1.000
		Significance (2-tailed)	.987	.006	.166	.
		df	28	28	28	0
0 MPa	1,5 MPa	Correlation	1.000	-.169	-.108	
		Significance (2-tailed)	.	.379	.576	
		df	0	27	27	
	2 MPa	Correlation	-.169	1.000	-.058	
		Significance (2-tailed)	.379	.	.766	
		df	27	0	27	
	2,5 MPa	Correlation	-.108	-.058	1.000	
		Significance (2-tailed)	.576	.766	.	
		df	27	27	0	

Kuat geser bambu dengan tekanan kempa 0 MPa adalah sebesar minimal 4,59 MPa dan maksimal 12,58 MPa dengan rata-rata sebesar 7,52 MPa. Pada tekanan kempa 1,5 MPa adalah minimal 3,59 MPa dan maksimal 13,57 MPa dengan rata-rata sebesar 7,28 MPa. Kuat geser bambu yang dikempa dengan tekanan 2 MPa adalah minimal 3,57 MPa dan maksimal 10,68 MPa dengan rata-rata sebesar 6,80 MPa. Sedangkan kuat geser bambu yang dikempa dengan tekanan 2,5 MPa adalah minimal 3,47 MPa dan maksimal 10,76 MPa dengan kuat geser rata-rata adalah 5,90 MPa. Hasil pengujian normalitas Kolmogorov-Smirnov menyatakan bahwa kuat geser dengan

berbagai variasi tekanan kempa adalah distribusi normal. Hasil pengujian normalitas Kolmogorov-Smirnov disajikan dalam Tabel 11. Hasil pengujian korelasi parsial kuat geser dengan berbagai variasi tekanan kempa tidak berhubungan secara signifikan. Sehingga tekanan kempa tidak mempengaruhi besarnya kuat geser bilah bambu. Hasil korelasi parsial kuat geser bambu dengan berbagai tekanan kempa disajikan dalam Tabel 12 berikut.

Tabel 11. Hasil pengujian normalitas kuat geser

		0 MPa	1,5 MPa	2 MPa	2,5 MPa
N		30	30	30	30
Normal Parameters ^a	Mean	2.5413E1	22.05	1.7121E1	1.5050E1
	Std. Deviation	3.3974E0	3.414	3.2628E0	4.0778E0
Most Extreme Differences	Absolute	.106	.085	.108	.074
	Positive	.106	.084	.086	.071
	Negative	-.105	-.085	-.108	-.074
Kolmogorov-Smirnov Z		.580	.465	.589	.406
Asymp. Sig. (2-tailed)		.890	.982	.878	.997

Tabel 12. Hasil korelasi parsial kuat geser

Control Variables			1,5 MPa	2 MPa	2,5 MPa	0 MPa
-none- ^a	1,5 MPa	Correlation	1.000	-.149	-.106	.003
		Significance (2-tailed)	.	.432	.579	.987
		df	0	28	28	28
	2 MPa	Correlation	-.149	1.000	.079	-.491
		Significance (2-tailed)	.432	.	.678	.006
		df	28	0	28	28
	2,5 MPa	Correlation	-.106	.079	1.000	-.260
		Significance (2-tailed)	.579	.678	.	.166
		df	28	28	0	28
	0 MPa	Correlation	.003	-.491	-.260	1.000
		Significance (2-tailed)	.987	.006	.166	.
		df	28	28	28	0
0 MPa	1,5 MPa	Correlation	1.000	-.169	-.108	
		Significance (2-tailed)	.	.379	.576	
		df	0	27	27	
	2 MPa	Correlation	-.169	1.000	-.058	
		Significance (2-tailed)	.379	.	.766	
		df	27	0	27	
	2,5 MPa	Correlation	-.108	-.058	1.000	
		Significance (2-tailed)	.576	.766	.	
		df	27	27	0	

Kuat tekan bambu dengan tanpa dikempa adalah sebesar minimal 29,92 MPa dan maksimal 63,70 MPa dengan rata-rata sebesar 45,80 MPa. Bilah bambu yang dikempa dengan tekanan 1,5 MPa mempunyai kuat tekan sebesar minimal 50,14 MPa dan maksimal 90,57 dengan rata-rata 70,08. Pada kuat tekan 2 MPa kuat geser bambu adalah minimal 46,56 MPa dan maksimal 61,47 MPa dengan rata-rata 54,65 MPa. Bilah bambu yang diberi tekanan kempa sebesar 2,5 MPa mempunyai kuat tekan minimal 28,47 MPa dan maksimal 79,64 MPa dengan rata-rata 51,15 MPa. Hasil pengujian normalitas Kolmogorov-Smirnov menyatakan bahwa kuat tekan dengan berbagai variasi tekanan kempa adalah distribusi normal. Hasil pengujian normalitas Kolmogorov-Smirnov kuat tekan bambu dengan berbagai variasi tekanan kempa disajikan dalam Tabel 13. Sedangkan hasil pengujian korelasi parsial kuat tekan dengan berbagai variasi tekanan kempa

tidak berhubungan secara signifikan. Hasil pengujian korelasi parsial kuat tekan bambu dengan berbagai variasi tekanan kempa disajikan dalam Tabel 14.

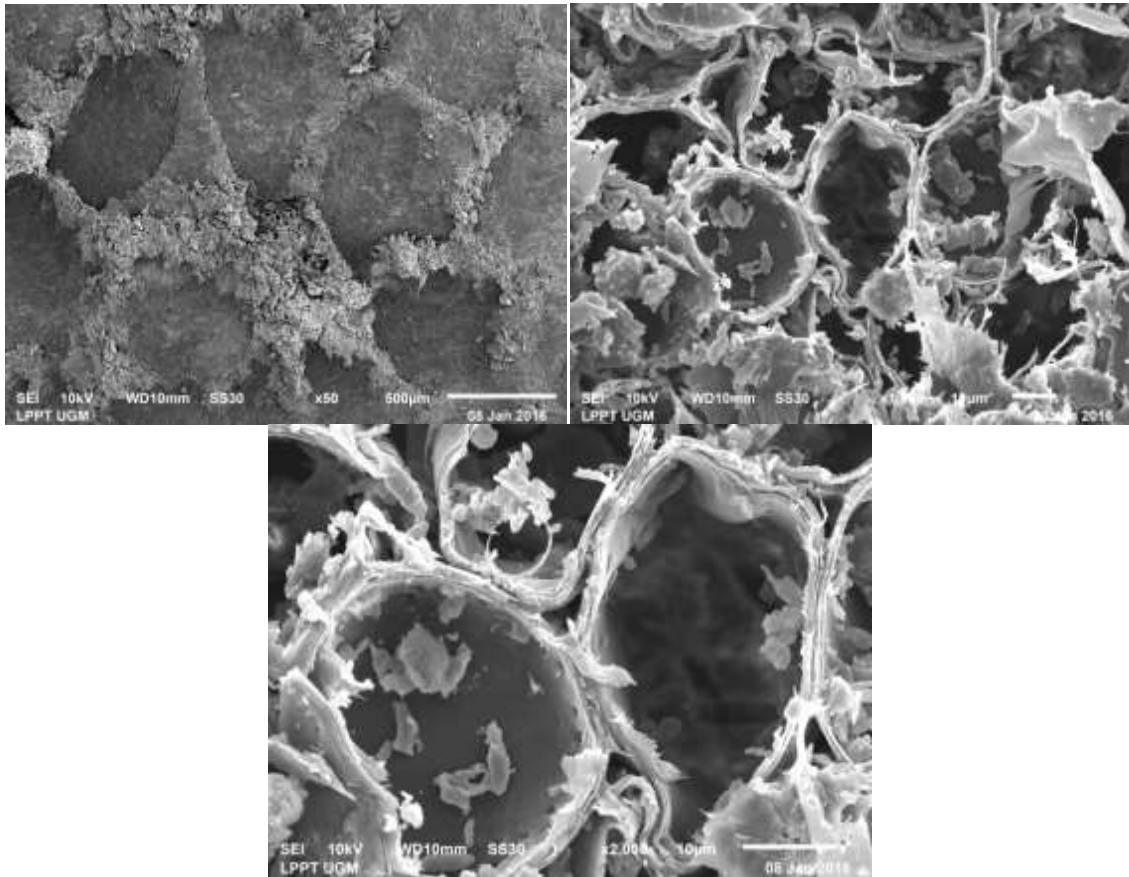
Tabel 13. Hasil pengujian normalitas kuat tekan

		0 MPa	1,5 MPa	2 MPa	2,5 MPa
N		30	30	30	30
Normal Parameters ^a	Mean	4.5797E1	7.0081E1	5.4651E1	5.1147E1
	Std. Deviation	8.4501E0	8.6307E0	3.5258E0	1.1953E1
Most Extreme Differences	Absolute	.120	.130	.101	.119
	Positive	.120	.099	.101	.107
	Negative	-.070	-.130	-.089	-.119
Kolmogorov-Smirnov Z		.655	.714	.551	.652
Asymp. Sig. (2-tailed)		.785	.688	.922	.789

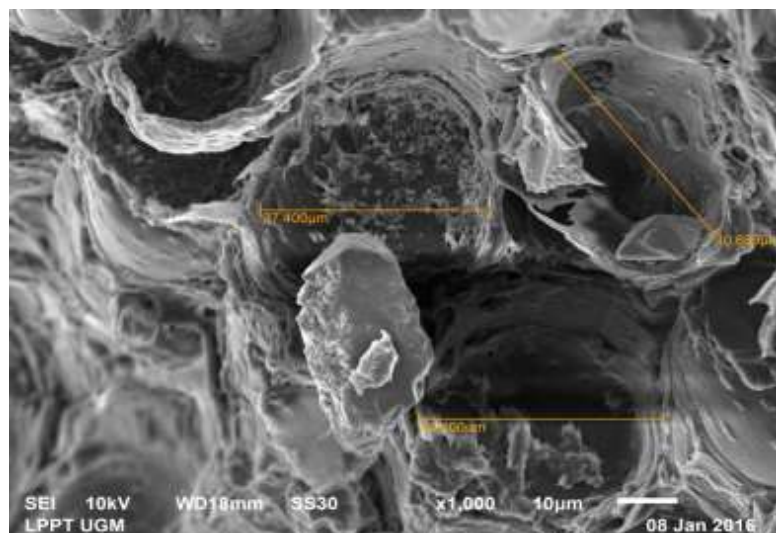
Tabel 14. Hasil Korelasi Parsial Kuat Tekan

Control Variables			1,5 MPa	2 MPa	2,5 MPa	0 MPa
-none- ^a	1,5 MPa	Correlation	1.000	.115	.120	-.285
		Significance (2-tailed)	.	.547	.527	.127
		df	0	28	28	28
	2 MPa	Correlation	.115	1.000	.082	-.218
		Significance (2-tailed)	.547	.	.665	.248
		df	28	0	28	28
	2,5 MPa	Correlation	.120	.082	1.000	.162
		Significance (2-tailed)	.527	.665	.	.391
		df	28	28	0	28
	0 MPa	Correlation	-.285	-.218	.162	1.000
		Significance (2-tailed)	.127	.248	.391	.
		df	28	28	28	0
0 MPa	1,5 MPa	Correlation	1.000	.056	.176	
		Significance (2-tailed)	.	.772	.361	
		df	0	27	27	
	2 MPa	Correlation	.056	1.000	.122	
		Significance (2-tailed)	.772	.	.528	
		df	27	0	27	
	2,5 MPa	Correlation	.176	.122	1.000	
		Significance (2-tailed)	.361	.528	.	
		df	27	27	0	

Pada tekanan kempa 1,5 MPa, untai serat yang dibatasi sel parenkim mengalami keretakan. Dari 6 buah bidang untai serat hanya 1 buah yang mengalami retakan sepanjang kurang lebih 50% dari keliling lubang untai serat yang dibatasi oleh sel parenkim. Gambar mikroskopis seperti terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 berikut. Dari perbandingan bentuk dimensi sel serat bambu Petung pada Gambar 5 dan Gambar 6, maka dapat dilihat terjadinya perubahan bentuk sel serat bambu Petung.

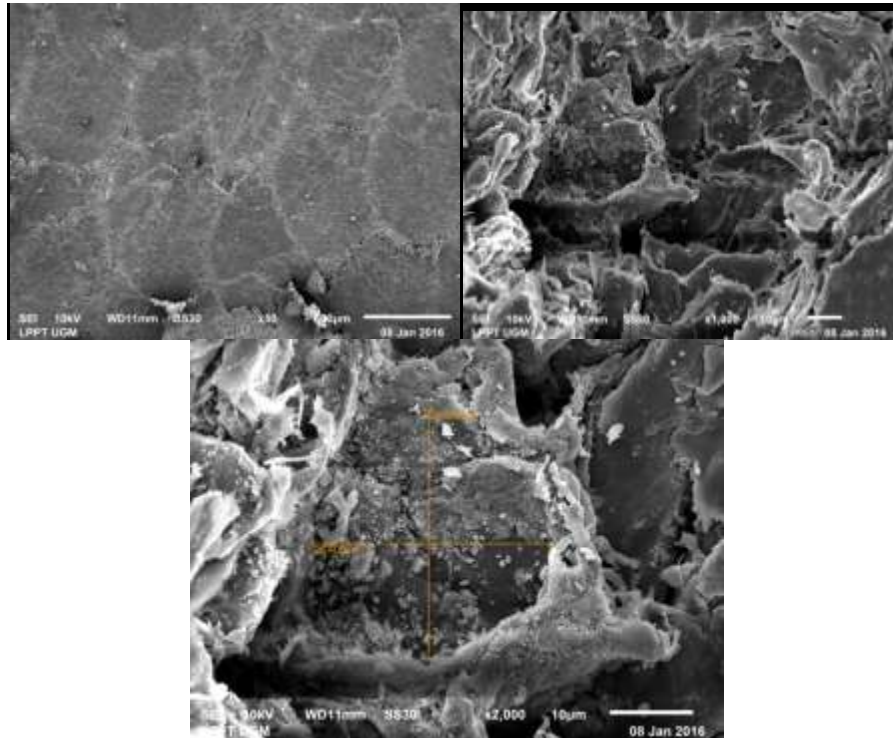


Gambar 5. SEM serat bambu Petung pada tekanan kempa 1,5 MPa.

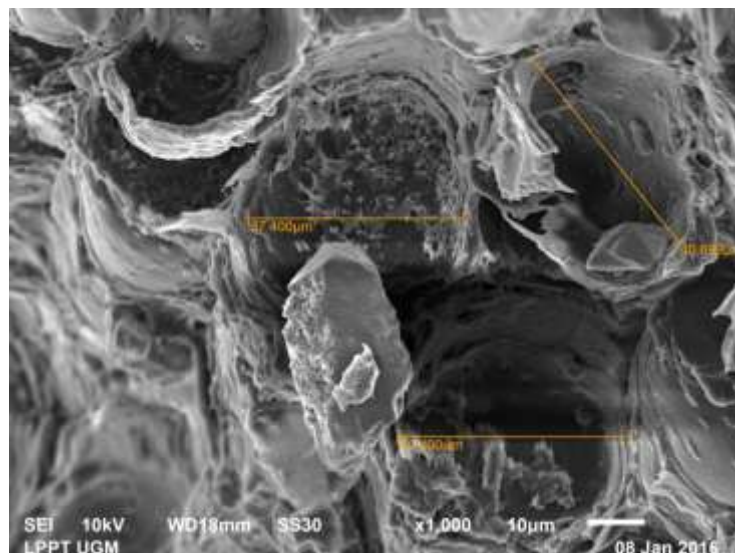


Gambar 6. SEM serat bambu Petung tanpa tekanan kempa.

Pada tekanan kempa 2 MPa, untai serat yang dibatasi sel parenkim mengalami banyak keretakan. Dari 6 buah bidang untai serat hanya rata-rata hamper semua yang mengalami retakan-retakan pada bidang untai serat yang dibatasi oleh sel parenkim. Gambar mikroskopis seperti terlihat pada gambar 7 berikut. Dari perbandingan gambar mikroskopik pada Gambar 7 dan Gambar 8, dapat dilihat bahwa untuk tekanan kempa 2 MPa serta bambu sudah mulai mengalami retak.

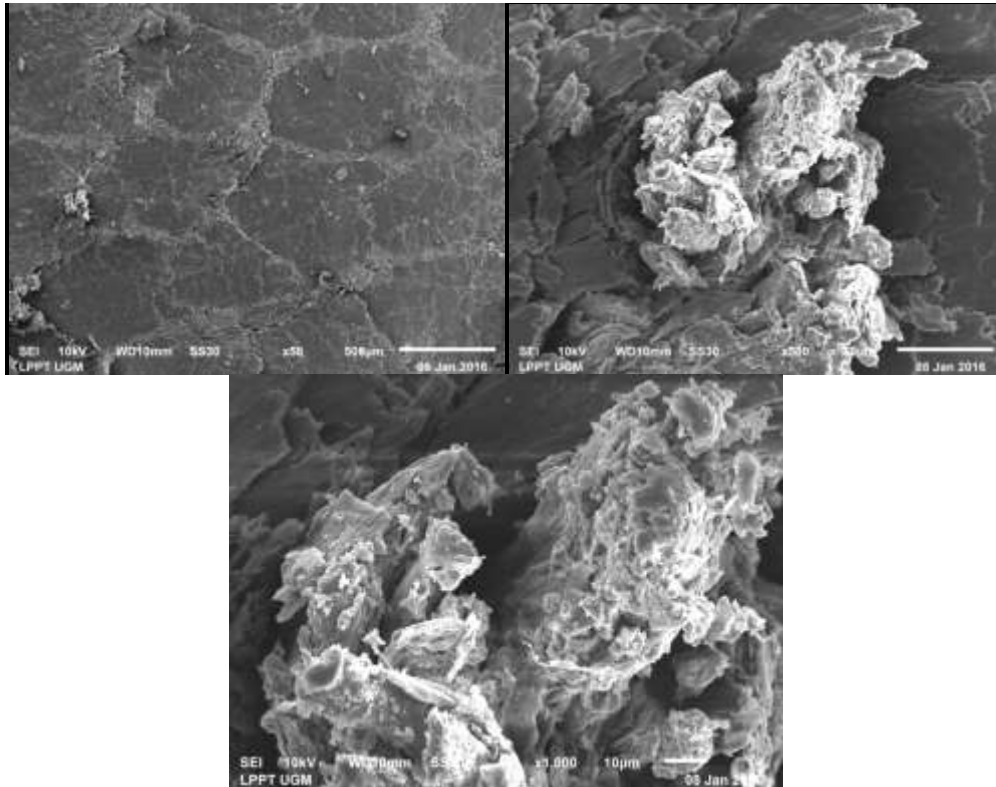


Gambar 7. SEM serat bambu Petung pada tekanan kempa 2 MPa.



Gambar 8. SEM serat bambu Petung tanpa tekanan kempa.

Pada tekanan kempa 2,5 MPa, untai serat yang dibatasi sel parenkim retakan-retakan yang menjadikan untai serat terpecah menjadi rata-rata 15 bidang tak beraturan. Dari 6 buah bidang untai serat hanya rata-rata hampir semua yang mengalami retakan-retakan pada bidang untai serat yang dibatasi oleh sel parenkim. Gambar mikroskopis seperti terlihat pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. SEM serat bambu Petung pada tekanan kempa 2,5 MPa.



Gambar 10. SEM serat bambu Petung tanpa tekanan kempa.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa pengempaan dengan besaran 1,5 MPa sampai dengan 2,5 MPa tidak mempengaruhi besarnya kadar air dan kerapatan. Sebelum dilakukan pengempaan terlebih dahulu bilah-bilah bambu dikeringkan sehingga mencapai nilai kering tanur yang seragam yakni kisaran 13% - 14%. Bambu pada kondisi tekanan kempa 1,5 MPa, untai serat yang dibatasi sel parenkim mengalami keretakan. Dari 6 buah bidang untai serat hanya 1 buah yang mengalami retakan sepanjang kurang lebih 50% dari keliling lubang untai serat yang dibatasi oleh sel parenkim. Pada tekanan kempa 2 MPa kondisi serat bambu menunjukkan untai serat yang

dibatasi sel parenkim mengalami banyak keretakan. Dari 6 buah bidang untaian serat hanya rata-rata hampir semua yang mengalami retakan-retakan pada bidang untaian serat yang dibatasi oleh sel parenkim. Sedangkan pada tekanan kempa 2,5 MPa serat bambu menunjukkan untaian serat yang dibatasi sel parenkim retakan-retakan yang menjadikan untaian serat terpecah menjadi rata-rata 15 bidang tak beraturan. Dari 6 buah bidang untaian serat hanya rata-rata hampir semua yang mengalami retakan-retakan pada bidang untaian serat yang dibatasi oleh sel parenkim.

Daftar Pustaka

- Budi, A. S., 2006, *Pengaruh Dimesi Bilah, Jenis Perekat dan Tekanan Kempa Terhadap Keruntuhan Lentur Balok Laminasi Bambu Peting*, Tesis, Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Tidak Diterbitkan.
- Eratodi, I.G.L.B., 2013, *Sambungan Balok-Kolom Struktur Bambu Laminasi Dengan Pelat Baja Dikarter Dan Baut*, Disertasi, Program Pascasarjana, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Tidak Diterbitkan.
- Hermanto, N.I., 2015, *Perilaku Mekanik Balok Komposit Bambu Laminasi Dan Pelat Lantai Beton Dengan Alat Sambung Geser Baja Tulangan*, Disertasi, Program Pascasarjana, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Tidak Diterbitkan.
- Irawati, S. I. dan Saputra, A., 2010, *Analisis Statistik Sifat Mekanika Bambu Petung*, Prosiding, Sinarbambu I, FTSL UGM Yogyakarta, Indonesia.
- Liese, W., 2000. *The Anatomy of Bamboo Culms*, Technical Report, International Network for Bamboo and Rattan, <http://www.inbar.int/publication/txt/tr18/default.htm>.
- Ma, J., Chen, W., Zhao, L. and Zhao, D., 2008, *Elastic Buckling of Bionic Cylindrical Shells Based on Bamboo*, Journal of Bionic Engineering, 5 pages 231-238.
- Masrizal, 2004, *Pengaruh Gaya Pengempaan Terhadap Kuat Lentur Balok Laminasi Vertikal Bambu Petung*, Tesis, Program Pascasarjana, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Tidak Diterbitkan.
- Morisco, 2006, *Teknologi Bambu*, Program Studi S2 Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Oka, G. M., 2004, *Pengaruh gaya Pengempaan Terhadap Keruntuhan Geser Balok Laminasi Horisontal Bambu Petung*, Tesis, Program Pascasarjana, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Tidak Diterbitkan.
- Yasin, Iskandar., Priyosulistyo, Henricus., Siswosukarto, Suprpto., Saputra, Ashar., 2015, *The Effect of Variable Lateral Stress of Laminated Bambu with Artificially Dent Surface on Mechanical Properties*, International Journal of Civil and Structural Engineering (IJCSE), ISSN : 2372-3971, Issue 02, Volume 2, pp. 80-83.